

مناسب‌ترین شاخص‌های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر جنگل‌های زاگرس شمالی

الهه معروف‌زاده^۱، پدرام عطار^{۲*} و علی قاسمی^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: attarod@ut.ac.ir

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۹

چکیده

هدف از پژوهش پیش‌رو، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه اثر تغییر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگلی زاگرس شمالی در شهرستان سردشت بود. برای این منظور با استفاده از تصاویر سری لندست طی دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷، ابتدا ۲۵ شاخص گیاهی محاسبه شد. سپس با کاربرد آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، نه شاخص گیاهی مؤثرتر شامل هفت شاخص در محور اول و دو شاخص در محور دوم انتخاب شدند. این دو محور عاملی، حدود ۹۱ درصد از واریانس شاخص‌های مورد بررسی را تبیین کردند. با به‌کارگیری داده‌های ایستگاه سینوپتیک سردشت، ضریب‌های همبستگی خطی بین شاخص‌های منتخب و متغیرهای اقلیمی بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های محورهای اول و دوم به ترتیب با بارش و دمای فصل بهار، همبستگی مستقیم و معکوس داشتند. طی دوره ۳۰ ساله، شاخص پوشش گیاهی متعادل‌شده خاک (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) با بارش فصل بهار، ۴۹ درصد و شاخص پوشش گیاهی نسبت قرمز سبز (Red Green Ratio Index, RGRI) با دمای متوسط فصل بهار، ۵۱ درصد همبستگی نشان دادند. به سبب اثرات همسان بارش و دمای فصل بهار در دهه اول، رابطه‌های رگرسیونی بین شاخص‌های SAVI و RGRI با بارش و دمای فصل بهار، ۸۴ و ۵۱ درصد همبستگی داشتند، در حالی که طی دهه‌های دوم و سوم، ضریب همبستگی هر دو شاخص به ترتیب به کمتر از ۵۰ و ۱۰ درصد کاهش یافت. با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، دخیل بودن چندین عامل مؤثر بر پوشش جنگلی و نیز اثرات متضاد یا همسان متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگلی، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های مذکور به‌منظور بررسی تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر جنگل‌های زاگرس شمالی، انطباق و همبستگی کم تا متوسطی دارند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز مؤلفه‌های اصلی، پوشش جنگل، سردشت، لندست.

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی نقش کلیدی در چرخه زیست‌زمین‌شیمیایی (Biogeochemical) جهانی ایفا می‌کنند و به شدت تحت تأثیر اقلیم زمین قرار می‌گیرند (Upgupta

et al., 2015). پیوند نزدیک بین اقلیم و جنگل‌ها حاکی از آن است که تغییر در یکی، تغییرات در دیگری را در پی خواهد داشت (FAO, 2013). برپایه گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on

(Difference Vegetation Index, NDVI) ماهواره مودیس، واکنش جنگل‌های پهن‌برگ راش و بلوط در مناطق معتدل اسلواکی را نسبت به تنش‌های اقلیمی بارش و دما ارزیابی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با کاهش بارندگی و افزایش دما، NDVI کاهش می‌یابد. همچنین، تأثیر دما بر پوشش جنگلی بیشتر بود. Souza و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استفاده از همین شاخص در جنگل‌های نیمه‌خشک شمال شرق برزیل نشان دادند که NDVI با تغییرات بارش در فصل رشد نسبت به فصل‌های مرطوب (پاییز و زمستان) رابطه بیشتری دارد. کمترین مقدار آن نیز با کمترین مقدار بارندگی هم‌زمان بود.

اگرچه شاخص‌های گیاهی زیادی توسط پژوهشگران کشورهای مختلف پیشنهاد شده‌اند، اما NDVI کاربرد بیشتری در بررسی پوشش گیاهی داشته است (Ayanlade, 2017). این شاخص در توصیف رفتار طیفی خاک و گیاه، ایرادهایی دارد، بنابراین برای رفع این نقص‌ها، شاخص‌های گیاهی دیگری پیشنهاد شده‌اند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی سبز (Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI) اشاره کرد که شبیه NDVI است، اما نسبت به تجمیع کلروفیل، حساس‌تر از NDVI است (Louhaichi *et al.*, 2001). در شاخص گیاهی سبز (Green Vegetation Index, GVI) با تأکید بر سبزی گیاهان، اثرات زمینه خاک حداقل شده است (Kauth & Thomas, 1976). همچنین، به منظور بهبود NDVI در مناطقی که شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) زیادی دارند، شاخص گیاهی بهبودیافته (Enhanced Vegetation Index, EVI) با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس توسعه داده شد. این شاخص از بازتاب طیف آبی برای اصلاح سیگنال‌های زمینه خاکی و کاهش تأثیر اتمسفری استفاده می‌کند (Huete *et al.*, 2002). شاخص پوشش گیاهی متعادل‌شده خاک (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) نیز توسط Huete (۱۹۸۸) پیشنهاد شد. در این شاخص، اثر پیکسل‌های خاک خنثی

(Climate Change)، اگرچه کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند از تشدید پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آینده بکاهد، اما باید توجه داشت که حتی اگر در حال حاضر، انتشار همه گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان متوقف شود، اثرات این پدیده تا اواخر قرن ۲۱ به دلیل ماندگاری طولانی دی‌اکسید کربن به‌عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای موجود در جو کره زمین ادامه خواهد یافت (IPCC, 2013). بنابراین به‌نظر می‌رسد که اثرات تغییر اقلیم بر زندگی بشر، اجتناب‌ناپذیر است. به همین سبب، ارزیابی اثرات تغییر متغیرهای اقلیمی به‌ویژه بر بوم‌سازگان‌های طبیعی مانند تغییرات پوشش جنگلی، اهمیت قابل توجهی دارد.

در بسیاری از پژوهش‌های اخیر، نقش تغییرات اقلیمی در کاهش سطح پوشش جنگلی بررسی شده است. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش‌ها حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی به‌ویژه کاهش باران و افزایش دما در بیشتر نقاط جهان سبب از بین رفتن پوشش جنگلی شده است (Upgupta *et al.*, 2015; Rizzetto *et al.*, 2016; Sohngen & Tian, 2016; Garbolino *et al.*, 2017; Thiele *et al.*, 2017). اگرچه کسب اطلاعات درباره تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر وضعیت جنگل‌ها، اهمیت زیادی دارد، اما گردآوری اطلاعات درباره تغییرات پیوسته پوشش جنگلی با روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است، بنابراین استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در چنین شرایطی، امکان مطالعه گسترده در مورد پوشش گیاهی را فراهم می‌کند. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه فناوری سنجنده و ماهواره، آخرین اطلاعات جغرافیایی به‌صورت ارزان‌تر و ساده‌تر در دسترس کاربران قرار گرفته‌اند. همچنین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیرشاخه‌های مهم در علم جنگلداری تبدیل شده است (Masek *et al.*, 2015). در پژوهش‌های بسیاری با اطلاعات باندهای قرمز و مادون‌قرمز تصاویر ماهواره‌ای و محاسبه شاخص‌های گیاهی، تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگلی بررسی شده است. چنانکه Hlásny و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized

انتخاب کرده و روش‌شناسی پژوهش را براساس شاخص‌های انتخابی پایه‌ریزی می‌کنند. به نظر می‌رسد که عملکرد این شاخص‌ها در هر منطقه با توجه به ویژگی‌های آن منطقه متفاوت است. هدف از پژوهش پیش‌رو، انتخاب مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی از میان ۲۵ شاخص گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل آماری است، به طوری که با کاربرد شاخص گیاهی مناسب بتوان اثرات تغییر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه را به صورت دقیق‌تر بررسی کرد.

مواد و روش‌ها

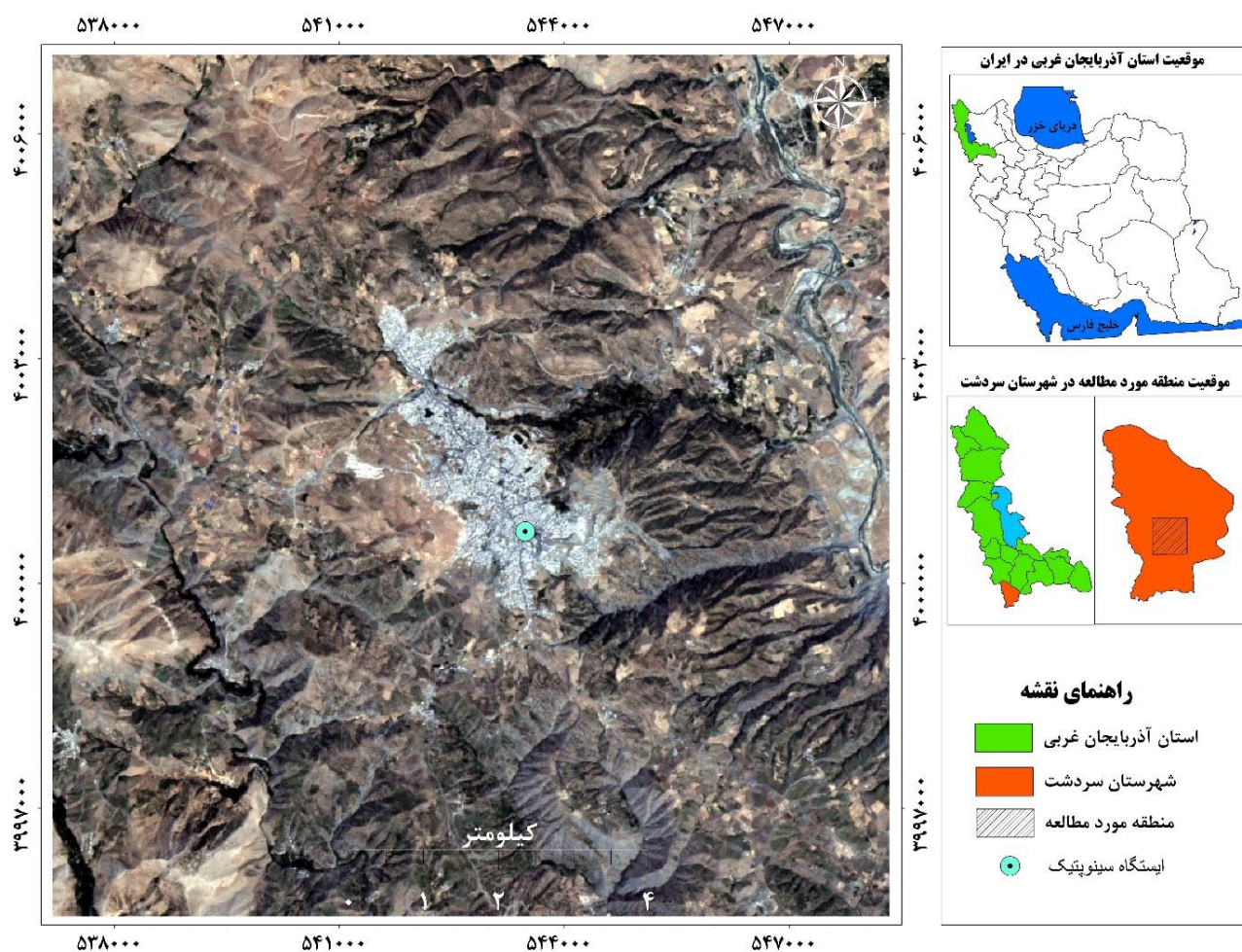
منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی پوشش جنگلی، مساحتی در حدود ۱۲۷ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی $45^{\circ} 24' 47''$ تا $45^{\circ} 32' 12''$ طول شرقی و $36^{\circ} 6' 15''$ تا $36^{\circ} 25' 12''$ عرض شمالی در اطراف ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت (طول جغرافیایی $45^{\circ} 29' 4''$ شرقی، عرض $36^{\circ} 9' 8''$ شمالی و ارتفاع ۱۵۵۷ متر از سطح دریا) در جنوب استان آذربایجان غربی انتخاب شد (شکل ۱). حدود ۳۵ کیلومتر مربع از وسعت منطقه مورد مطالعه را پوشش جنگلی دربر گرفته است که بیشتر آن‌ها تراکم کمی (۲۵ تا ۵۰ درصد) دارند. بیشتر درختان این منطقه را گونه‌های دارمازو (*Quercus infectoria*)، ویول (*Q. libani*) و برودار (*Q. brantii*) تشکیل می‌دهند. از جمله گونه‌های همراه نیز می‌توان به زالزالک (*Crataegus spp.*)، بنه (*Pistacia atlantica*) و گلابی وحشی (*Pyrus communis*) اشاره کرد (Es'haghi Rad et al., 2016). اقلیم منطقه براساس منحنی آمبرزه در محدوده سرد و خشک قرار دارد و برمبنای منحنی آمبروترمیک، در چهار ماه از سال، خشک است (Biabani et al., 2016).

شده است. SAVI در مناطقی که دارای پوشش گیاهی کم‌تراکم و خاک قابل مشاهده در بین تاج پوشش گیاهان هستند، دقت بسیار خوبی دارد، بنابراین با توجه به شرایط پوشش گیاهی هر منطقه، انتخاب شاخص گیاهی مناسب می‌تواند در افزایش دقت پژوهش‌ها مؤثر باشد.

در برخی از پژوهش‌ها، توان شاخص‌های گیاهی مختلف به منظور بررسی تغییرات پوشش جنگلی و متغیرهای اقلیمی مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال، Goodarzi و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگل‌های بلوط در استان لرستان نشان دادند که در بین ۱۶ شاخص گیاهی، شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی متعادل‌شده خاک (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index, OSAVI) و شاخص نرمال‌شده تفاوت آب اصلاح‌شده (Water Index, MNDWI) به ترتیب توان بیشتری برای نشان دادن اثرات بارش و دما بر پوشش جنگلی دارند. Yaghobi و همکاران (۲۰۱۹) نیز با مقایسه دو شاخص NDVI و نسبت گیاهی (Ratio Vegetation Index, RVI) در جنگل‌های استان ایلام گزارش کردند که NDVI در جنگل‌های متراکم و نیمه‌متراکم و RVI در جنگل‌های تنک، توان بیشتری برای بررسی پوشش جنگلی دارند. همچنین، NDVI در مقایسه با RVI همبستگی بیشتری با تغییرات بارش نشان داد. Maroufzade و Attarod (۲۰۲۱) با بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در جنگل‌های زاگرس شهرستان سردشت (منطقه مورد مطالعه پژوهش پیش‌رو) گزارش کردند که دمای سالانه، فصلی و ماهانه ژانویه، فوریه، مارس، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر، طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) روند تغییرات افزایشی داشتند.

پژوهشگران مختلف جهان، ده‌ها شاخص گیاهی را برای بررسی پوشش جنگلی و ارزیابی اثرات تغییر متغیرهای اقلیمی بر جنگل‌ها پیشنهاد کرده‌اند. بیشتر پژوهشگران در انجام این پژوهش‌ها به صورت تصادفی، شاخصی را از بین شاخص‌های مختلف گیاهی ارائه شده



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی، شهرستان سردشت و ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت

روش پژوهش

به منظور بررسی اثرات بارش و دما بر پوشش جنگلی در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ (۳۰ سال) از اطلاعات تصاویر سری لندست، سنجنده نقشه بردار موضوعی (Thematic Mapper, TM)، نقشه بردار موضوعی بهبود یافته پلاس (Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+)، تصویر بردار عملیاتی زمین (Operational Land Imager, OLI) و داده‌های سالانه و فصلی بارش و دما متعلق به ایستگاه سینوپتیک شهرستان سردشت استفاده شد.

داده‌های ماهواره‌ای و پیش‌پردازش‌های اولیه

همه تصاویر مورد استفاده به‌طور تقریبی در نیمه دوم

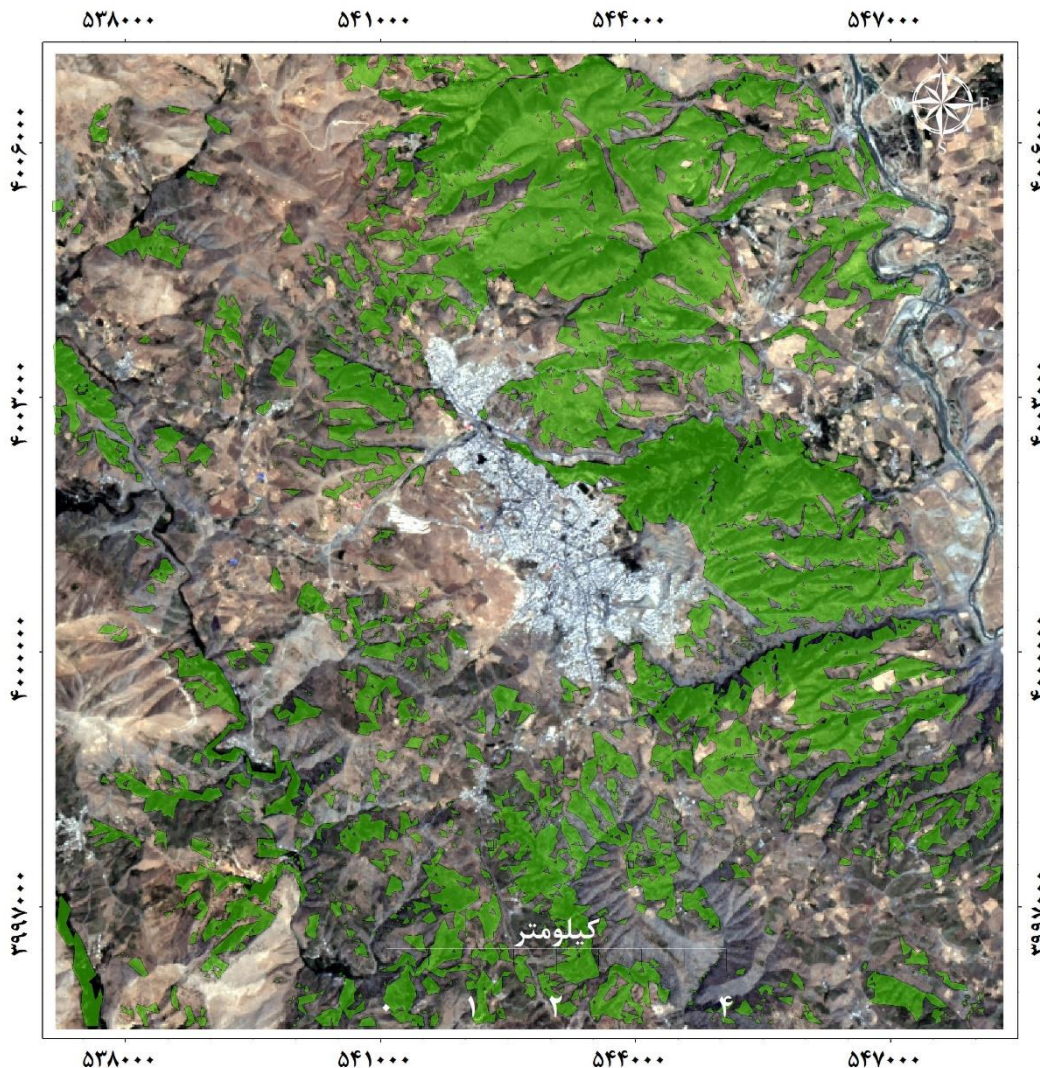
فصل تابستان (ماه اوت) اخذ شد، زیرا در این ماه به سبب برداشت محصولات کشاورزی و خشک شدن گیاهان مرتعی، احتمال اختلاط بازتاب طیفی کاربری‌های جنگلی، مرتعی و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کمتر است، بنابراین طبقه پوشش جنگلی را می‌توان با دقت بیشتری تفکیک کرد. تصاویر ماه اوت برای سال‌های میلادی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ از طریق سایت نقشه برداری زمین‌شناسی آمریکا (United States Geological Survey, USGS) ارزیابی شد. در نهایت، ۲۸ تصویر برای همه سال‌ها به‌غیر از سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۳ دریافت شد (جدول ۱). تصویر مربوط به سال ۱۹۹۴ به دلیل شرایط ابرناکی بسیار زیاد استفاده نشد. همچنین، تصویر برداری در ماه اوت سال ۲۰۰۳ انجام نشده

(Row) و گذر (Path) در همه تصاویر دریافتی به ترتیب ۱۶۸ و ۳۵ بودند.

بود. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای، خطاهای اولیه شامل اتمسفری، رادیومتریکی و - (Scan Line Corrector (SLC) off (لندست ۷) با نرم‌افزار ENVI 5.3 تصحیح شد. ردیف

جدول ۱- زمان تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ها برای بررسی روند تغییرات پوشش جنگلی

سنجنده ETM+ لندست ۷		سنجنده TM لندست ۵		
16- AUG -2012		13- AUG -2002	10- AUG -1995	02- AUG -1988
11- AUG -2013		13- AUG -2008	02- AUG -2004	09- AUG -1989
14- AUG -2014	02- AUG -2001	16- AUG -2009	05- AUG -2005	12- AUG -1990
17- AUG -2015	16- AUG -2012	19- AUG -2010	24- AUG -2006	02- AUG -1998
03- AUG -2016		22- AUG -2011	11- AUG -2007	05- AUG -1999
22- AUG -2017		13- AUG -2008	07- AUG -2000	20- AUG -1993



شکل ۲- طبقه پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه در شهرستان سردشت، استان آذربایجان غربی

تفکیک طبقه کاربری پوشش جنگلی

به‌منظور تفکیک طبقه کاربری اراضی جنگلی از کاربری‌های دیگر در منطقه مورد مطالعه، محدوده کلی پوشش جنگلی با برنامه گوگل‌ارث (Google Earth) از کاربری‌های دیگر تفکیک شد. کاربری اراضی جنگلی در منطقه مورد مطالعه از نظر تراکم همگن نیست و بعضی از مناطق بدون پوشش درختی هستند، بنابراین برای شناسایی و حذف مناطق عاری از پوشش درختی، از شاخص SAVI تصویر لندست ۸ مربوط به سال میلادی ۲۰۱۷ استفاده شد. برای این منظور، در محدوده کلی پوشش جنگلی با بررسی چشمی دقیق‌تر تصویر گوگل‌ارث، تعدادی پیکسل که در آن عدم پوشش درختی محرز شده بود، انتخاب شد. سپس، میانگین SAVI آن پیکسل‌ها به‌عنوان حد‌آستانه برای حذف پوشش غیرجنگلی به‌کار برده شد. در شکل ۲، طبقه کاربری پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

شاخص‌های گیاهی

در پژوهش پیش‌رو از ۲۵ شاخص گیاهی شناخته‌شده برای بررسی تغییرات پوشش جنگلی در اثر تغییر متغیرهای اقلیمی طی دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ استفاده شد (جدول ۲). برای این منظور، پس از تفکیک پوشش جنگلی با استفاده از مرز طبقه جنگلی، همه تصاویر ماهواره‌ای (از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷) برش داده شدند. پس از محاسبه ۲۵ شاخص گیاهی، مقدار متوسط هر یک از شاخص‌ها در محدوده مورد مطالعه برای هر کدام از سال‌ها استخراج شد. در سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۳ به‌سبب عدم تصویربرداری در ماه اوت، مقادیر میانگین متوسط شاخص‌ها در یک سال پیش محاسبه و برای این سال‌ها در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری

یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره، تحلیل عاملی (Factor Analysis) است. برای تفسیر بهتر اطلاعات و در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات سروکار داریم، از این روش می‌توان به‌منظور کاهش پیچیدگی‌ها در تحلیل

متغیرهای اولیه مسئله استفاده کرد (Goodarzi et al., 2019). بیشتر پژوهش‌های حوزه منابع طبیعی در عرصه مراتع و جنگل‌ها انجام می‌شوند و شرایط محیط تحت کنترل پژوهش‌گر نیست، بنابراین در بسیاری از موارد با تعداد زیادی از متغیرها روبرو هستیم. در نتیجه، برای کاهش حجم متغیرها می‌توان از تحلیل عاملی به‌عنوان یک روش مناسب استفاده کرد. در این تحلیل هرچه مقدار همبستگی داخلی متغیرها زیاد باشد، تعداد عوامل کمتری پدید خواهند آمد. یکی از روش‌های انتخاب متغیرهای مناسب برای تحلیل عاملی، استفاده از ماتریس همبستگی است. روش تحلیل عاملی بر همبستگی بین متغیرها، اما از نوع غیرعالی استوار است، بنابراین در استفاده از این روش باید ماتریس همبستگی بین متغیرها نیز محاسبه شود. به‌طور معمول این نوع ماتریس‌های همبستگی، وجود رابطه بین برخی متغیرها و عدم ارتباط آن‌ها با برخی دیگر را نشان می‌دهند. این الگو در تحلیل عاملی موجب شکل‌گیری خوشه‌هایی می‌شود که متغیرهای درون خوشه با یکدیگر همبستگی دارند، اما با متغیرهای خوشه‌های دیگر همبستگی نشان نمی‌دهند. توصیه شده است متغیرهایی که با هیچ متغیر دیگری همبستگی معنی‌دار نداشته باشند، از تحلیل حذف شوند (Bihanta & Zare Chahouki, 2015)، بنابراین در این پژوهش، پیش از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS ماتریس همبستگی پیرسون برای شاخص‌های گیاهی مورد نظر بررسی شد. سپس، به‌منظور تعیین عامل‌ها و کاهش تعداد شاخص‌های گیاهی از مدل آماری تجزیه مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis, PCA) استفاده شد. برای انتخاب تعداد عامل‌ها، عواملی که تعداد مقادیر ویژه (Eigenvalues) بزرگ‌تر از یک داشتند، در نظر گرفته شدند. در واقع، با انجام این تحلیل، تعداد عواملی که واریانس بیشتری را تبیین می‌کنند، کاهش معنی‌داری پیدا کردند. به این ترتیب، دسته‌بندی شاخص‌ها و انجام تفسیرهای کارشناسی آسان‌تر شد.

جدول ۲- شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش

شاخص گیاهی	رابطه	منبع
Difference Vegetation Index (DVI)	$DVI = NIR - Red$	(Tucker, 1979)
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$	(Huete <i>et al.</i> , 2002)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	(Rouse <i>et al.</i> , 1973)
Green Difference Vegetation Index (GDVI)	$GDVI = NIR - Green$	(Sripada <i>et al.</i> , 2006)
Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)	$GNDVI = (NER - Green) / (NER + Green)$	(Louhaichi <i>et al.</i> , 2001)
Green Ratio Vegetation Index (GRVI)	$GRVI = NIR / Green$	(Sripada <i>et al.</i> , 2006)
Green Vegetation Index (GVI)	$GVI = ((-0.2848) * TM1) + (-0.2435 * TM2) + (-0.5436 * TM3) + (0.7243 * TM4) + (0.0840 * TM5) + (-0.1800 * TM7)$	(Kauth & Thomas, 1976)
Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)	$IPVI = NIR / (NIR + Red)$	(Crippen, 1990)
Leaf Area Index (LAI)	$LAI = 3.618 * EVI - 0.118$	(Boegh <i>et al.</i> , 2002)
Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI)	$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$	(Xu, 2006)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI)	$MTVI = 1.5[1.2(NRI - Green) - 2.5(Red - Green)]$	(Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
Modified Triangular Vegetation Index-Improved (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5[1.2(NRI - Green) - 2.5(Red - Green)]}{\sqrt{(2NRI + 1)^2 - (6NRI - 5\sqrt{Red})} - 0.5}$	(Qi <i>et al.</i> , 1994)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = (1.5 * (NIR - Red)) / ((NRI + Red + L))$	(Huete, 1988)
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = (1.5 * (NIR - Red)) / ((NRI + Red + 0.16))$	(Rondeaux <i>et al.</i> , 1996)
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = (NIR - Red) / \sqrt{(NIR + Red)}$	(Roujean & Breon, 1995)
Sum Green Index (SGI)	Mean of reflectance across the 500 nm to 600 nm	(Lobell & Asner, 2003)
Transformed Difference Vegetation Index (TDVI)	$TDVI = \sqrt{0.5 + (NIR - Red) / (NIR + Red)}$	(Bannari <i>et al.</i> , 2002)
Global Environmental Monitoring Index (GEMI)	$GEMI = \frac{eta(1 - 0.25eta) - \frac{Red - 0.125}{1 - Red}}{2(NRI^2 - Red^2) + 1.5NRI + 0.5Red}$ $eta = \frac{NRI + Red + 0.5}{NRI + [Green - \gamma(Blue - Red)]}$	(Pinty & Verstraete, 1992)
Green Atmospherically Resistant Index (GARI)	$GARI = \frac{NRI - [Green - \gamma(Blue - Red)]}{NRI + [Green - \gamma(Blue - Red)]}$	(Gitelson <i>et al.</i> , 1996)
Non-Linear Index (NLI)	$NLI = NRI^2 - Red / NRI^2 + Red$	(Goel & Qin, 1994)
Modified Non-Linear Index (MNLI)	$MNLI = \frac{(NRI^2 - Red) * (1 + L)}{NRI^2 + Red + L}$ L = 0.5	(Yang <i>et al.</i> , 2008)
Simple Ratio (SR)	$SR = NIR / Red$	(Birth & McVey, 1968)
Modified Simple Ratio (MSR)	$MSR = ((NRI / Red) - 1) / (\sqrt{(NRI / Red) + 1})$	(Chen, 1996)
Red Green Ratio Index (RGRI)	$RGRI = \sum_{i=600}^{699} R_i / \sum_{j=500}^{599} R_j$	(Gamon & Surfus, 1999)
Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)	$VARI = (Green - Red) / (Green + Red - Blue)$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2002)

نتایج

تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی

نتایج حاصل از بررسی ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد که بین شاخص‌های مورد مطالعه، همبستگی بسیار زیادی وجود دارد، به طوری که به غیر از سه شاخص VARI، RGRI و GARI، همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد برای ۲۲ شاخص گیاهی دیگر مشاهده شد. این ضریب‌های همبستگی زیاد بیانگر مناسب بودن متغیرهای مورد بررسی برای تحلیل عاملی هستند. براساس نتایج مربوط به تجزیه مؤلفه‌های اصلی، مقدار شاخص KMO در سطح اطمینان ۹۹ درصد، حدود ۰/۷۲۲ به دست آمد. این یافته نشان‌دهنده کافی بودن حجم نمونه‌ها برای انجام تحلیل عاملی است.

تجزیه مؤلفه‌های اصلی

بر مبنای نتایج به دست آمده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، حدود ۹۱ درصد از تغییرات واریانس مربوط به دو محور اول هستند. محور عاملی یک حدود ۸۱ درصد واریانس شاخص‌های مورد بررسی را توضیح می‌دهد. همچنین، با اضافه شدن ۱۰ درصد واریانس به محور عاملی دو در مجموع ۹۱ درصد تغییرات واریانس تبیین شد (جدول ۳). با دوران محورهای عاملی نیز تغییرات در مجموع واریانس‌ها مشاهده نشد.

آماره دیگری به نام KMO (Kaiser-Mayer-Olkin)

وجود دارد که قادر به تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی است. در صورتی که مقدار KMO کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهند بود. اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، می‌توان با احتیاط بیشتری به تحلیل عاملی پرداخت، اما اگر KMO بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، آنگاه همبستگی بین داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهد بود (Bihanta & Zare Chahouki, 2015). بر این اساس، ۲۵ شاخص گیاهی مورد مطالعه به چند عامل (گروه) کاهش داده شد. از میان شاخص‌های متعلق به هر عامل (گروه)، آن‌هایی که وزن بیشتری داشتند، به عنوان شاخص منتخب آن گروه انتخاب شدند. به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص از میان شاخص‌های منتخب هر گروه، ارتباط شاخص‌های مورد مطالعه با متغیرهای اقلیمی بارش و دمای سالانه و فصلی بررسی شد. شاخصی که بیشترین همبستگی با متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه را داشت، به عنوان شاخص گیاهی مناسب به منظور بررسی پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه معرفی شد. سپس، رابطه تغییرات شاخص گیاهی مناسب با تغییرات پارامتر اقلیمی در سه دهه اخیر (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷) تجزیه و تحلیل شد.

جدول ۳- نتایج انجام تحلیل عاملی (مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها) برای ۲۵ شاخص گیاهی مورد مطالعه

محور	مجموع مربعات بار دوران یافته			مجموع مربعات بار دوران نیافته			مقدار ویژه اولیه		
	درصد تجمعی	درصد واریانس	مجموع	درصد تجمعی	درصد واریانس	مجموع	درصد تجمعی	درصد واریانس	مجموع
۱	۸۰/۸۸	۸۰/۸۸	۲۰/۲۲	۸۰/۸۸	۸۰/۸۸	۲۰/۲۲	۸۰/۸۸	۸۰/۸۸	۲۰/۲۲
۲	۹۰/۸۸	۹۰/۸۸	۲/۵	۱۰	۱۰	۲/۵	۹۰/۸۸	۹۰/۸۸	۲/۵
-	-	-	-	-	-	-	۹۴/۳	۳/۴۲	۰/۸۶

شاخص‌های IPVI، NDVI، OSAVI، SAVI، RDVI، TDVI و MNLI و در عامل دوم (گروه دوم)، شاخص‌های RGRI و VARI قرار گرفتند.

باتوجه به زیاد بودن وزن تعداد قابل توجهی از متغیرها، معیار ۰/۹۹ برای عامل اول و ۰/۹۵ برای عامل دوم به عنوان آستانه عددی برای انتخاب متغیرها در نظر گرفته شد (جدول ۴). بر این اساس، در عامل اول (گروه اول)

جدول ۴- ماتریس عاملی دوران نیافته برای ۲۵ شاخص گیاهی مورد مطالعه

شاخص گیاهی	محور اول	محور دوم
DVI	۰/۹۶۶	۰/۰۴۵
EVI	۰/۹۳۸	۰/۲۷۸
GDVI	۰/۹۲۷	-۰/۱۰۲
GNDVI	۰/۹۶۷	-۰/۲۳
GRVI	۰/۹۴۱	-۰/۲۶۷
GVI	۰/۹۸۱	-۰/۰۹۲
IPVI	۰/۹۹	-۰/۰۰۴
LAI	۰/۹۳۵	۰/۲۸۳
MNDWI	-۰/۷۹۸	۰/۳۲۹
MTVI	۰/۹۸	۰/۱۷۷
NDVI	۰/۹۹۱	-۰/۰۰۷
OSAVI	۰/۹۹۸	۰/۰۱۶
RDVI	۰/۹۹۶	۰/۰۲۶
SAVI	۰/۹۹۲	-۰/۰۳۳
SGI	-۰/۸۲۹	۰/۲۷۶
TDVI	۰/۹۹۱	-۰/۰۰۷
GEMI	۰/۹۷۳	۰/۰۷۵
GARI	۰/۴۲۹	۰/۲۷۱
NLI	۰/۹۸۱	۰/۰۳۹
MNLI	۰/۹۹۴	۰/۰۱۹
SR	۰/۹۴	۰/۰۱۹
MSR	۰/۹۳	۰/۰۴۵
MTVI2	۰/۹۸۱	۰/۱۶۶
RGRI	۰/۱۰۷	-۰/۹۷۸
VARI	۰/۰۵۱	۰/۹۵۵

همبستگی شاخص‌های گیاهی منتخب با متغیرهای اقلیمی تا این مرحله، ۲۵ شاخص مورد مطالعه به نه شاخص شامل هفت شاخص متعلق به گروه اول و دو شاخص متعلق به گروه دوم کاهش یافتند (جدول ۵). بررسی

رابطه همبستگی رگرسیون ساده خطی بین شاخص‌های مورد مطالعه و متغیرهای اقلیمی نشان داد که هر نه شاخص منتخب با بارش و دمای مربوط به فصل‌های مرطوب (زمستان و پاییز)، کمترین ضریب همبستگی را

بین شاخص‌های مربوط به گروه اول، SAVI با مقدار ۰/۴۹۳ و در گروه دوم، RGRI با مقدار ۰/۵۰۶، بیشترین ضریب همبستگی را نشان دادند.

داشتند. شاخص‌هایی که در گروه‌های اول و دوم قرار گرفتند، بیشترین ضریب همبستگی را به ترتیب با مقدار متوسط بارش و دما در فصل بهار داشتند (جدول ۶). در

جدول ۵- ضریب همبستگی شاخص‌های منتخب با متغیرهای اقلیمی بارش و دما

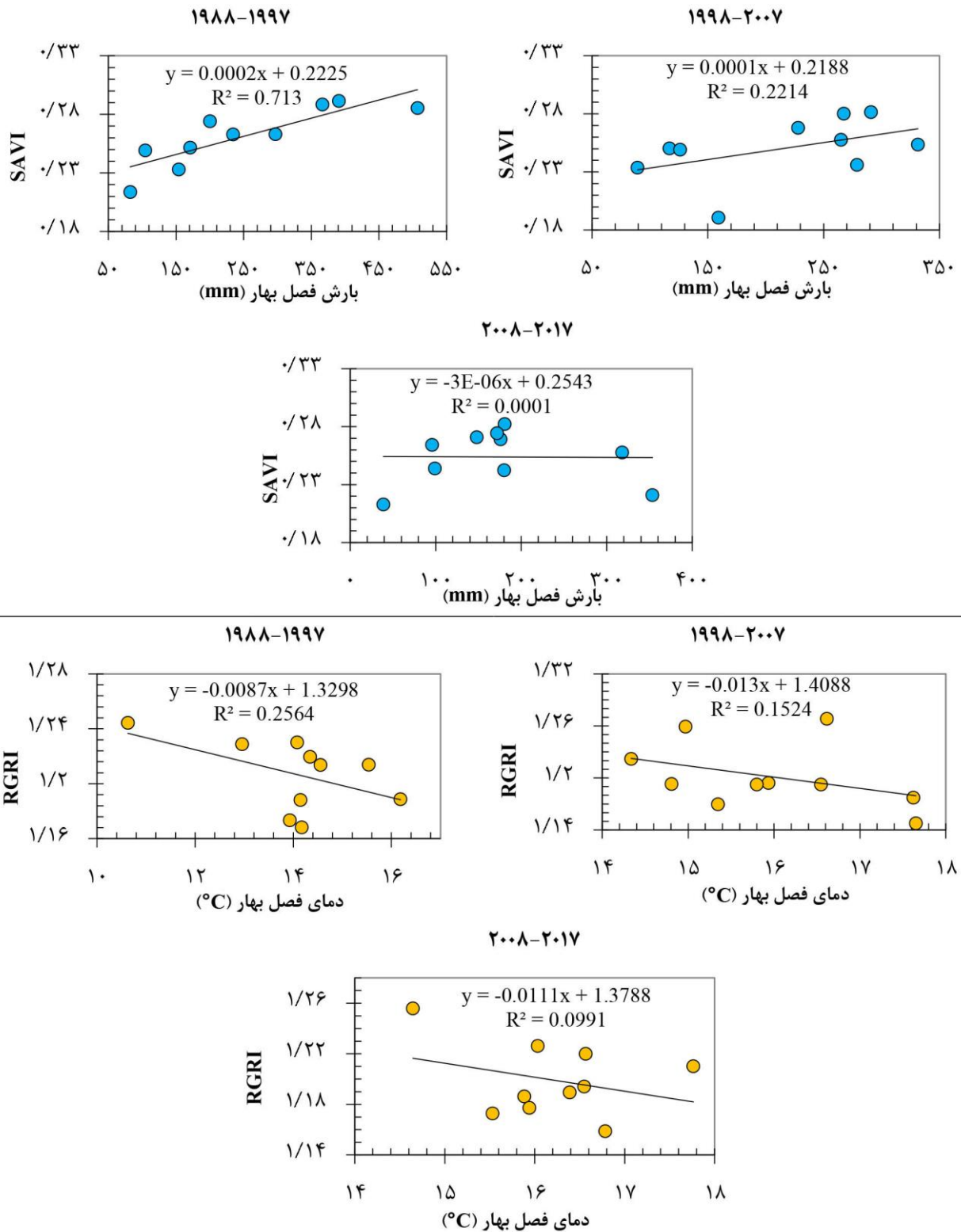
دما					بارش					شاخص گیاهی
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	
۰/۱۲۴	۰/۱۳۱	۰/۰۴۶	۰/۳۸۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۷	۰/۰۲۲	۰/۳۴۸	۰/۴۵۴	۰/۲۸۷	IPVI
۰/۲۶۸	۰/۱۳۱	۰/۱۲۳	۰/۳۸۸	۰/۰۷۲	۰/۱۰۸	۰/۰۷۳	۰/۳۷۸	۰/۴۹	۰/۲۸۷	NDVI
۰/۰۷۳	۰/۰۳	۰/۰۸۶	۰/۴۵۵	۰/۱۲۱	۰/۱۲۷	۰/۱۰۶	۰/۳۱۱	۰/۴۹۳	۰/۴۲۲	SAVI
۰/۲۲۴	۰/۲۶۲	۰/۱۶۹	۰/۳۸۱	۰/۰۷۴	۰/۱۳۹	۰/۱۴۲	۰/۳۵۶	۰/۴۵۴	۰/۳۳۳	OSAVI
۰/۱۷۷	۰/۱۹۹	۰/۰۷۸	۰/۳۹۲	۰/۰۴	۰/۱۴۸	۰/۰۲۲	۰/۳۵۴	۰/۴۵۶	۰/۳۵۸	RDVI
۰/۳۴۷	۰/۲۵۷	۰/۲۵	۰/۴۳۲	۰/۲۹۲	۰/۰۳۴	۰/۱۸۱	۰/۳۶	۰/۴۵۴	۰/۲۸۷	TDVI
۰/۱۲۴	۰/۱۵۴	۰/۰۶	۰/۴۱۲	۰/۱۷۶	۰/۱۸۶	۰/۱۵۶	۰/۳۴۸	۰/۴۸۷	۰/۴۱۳	MNLI
۰/۱۲۸	۰/۲۸۴	۰/۳۳۴	۰/۵۰۶	۰/۲۲۲	۰/۰۱۷	۰/۳۲۲	۰/۳۴۹	۰/۴۸۱	۰/۳۷۳	RGRI
۰/۱۲۶	۰/۲۳۶	۰/۲۳۷	۰/۴۶۱	۰/۱۴۴	۰/۰۱۹	۰/۳۰۸	۰/۳۴۸	۰/۴۷	۰/۳۵۹	VARI

عدد پررنگ در هر ردیف نشان‌دهنده بیشترین ضریب همبستگی است.

ضریب همبستگی بین SAVI و بارش فصل بهار از ۸۴ درصد در دهه اول (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷) به ۴۷ درصد در دهه دوم (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷) و صفر درصد در دهه سوم (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷) کاهش یافت (شکل ۳؛ سه نمودار بالا). همچنین، مقدار ضریب همبستگی بین RGRI و دمای فصل بهار از ۵۱ درصد در دهه اول به ۳۹ و ۳۱ درصد به ترتیب در دهه‌های دوم و سوم رسید (شکل ۳؛ سه نمودار پایین).

تغییرات شاخص گیاهی با تغییرات پارامتر اقلیمی در سه دهه اخیر

باتوجه به نتایج، در بین ۲۵ شاخص گیاهی مورد مطالعه، شاخص‌های SAVI و RGRI به ترتیب به منظور بررسی تأثیر بارش و دمای فصل بهار بر تغییرات پوشش گیاهی انتخاب شدند. برای این منظور، رابطه رگرسیون خطی هرکدام از این شاخص‌ها در سه دهه اخیر (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷) به ترتیب با بارش و دمای فصل بهار بررسی شد (شکل ۳). مقدار



شکل ۳- رابطه‌های رگرسیون خطی ساده بین شاخص SAVI و بارش فصل بهار (سه نمودار بالایی) و RGRI با دمای فصل بهار (سه نمودار پایینی) در سه دهه مورد مطالعه (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷)

بحث

در پژوهش پیش‌رو، ۲۵ شاخص گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند. سپس با تجزیه و تحلیل آماری، مناسب‌ترین این شاخص‌ها به منظور مطالعه تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی انتخاب شدند. نتایج مربوط به تحلیل عاملی نشان داد که شاخص‌های گروه اول با مقدار بارش فصل بهار، رابطه مستقیم و شاخص‌های گروه دوم با دمای فصل بهار، رابطه معکوس دارند. این نتیجه با یافته‌های Hlásny و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. این پژوهشگران نیز با بررسی واکنش جنگل‌های پهن‌برگ راش و بلوط در مناطق معتدل اسلواکی نسبت به تنش‌های اقلیمی بارش و دما گزارش کردند که با افزایش بارش و دما، شاخص NDVI به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش پیش‌رو حاکی از آن بود که در گروه اول، بیشترین درصد همبستگی بارش فصل بهار مربوط به شاخص SAVI بود، در حالی که شاخص RGRI در گروه دوم، بیشترین درصد همبستگی را با دمای فصل بهار نشان داد. Souza و همکاران (۲۰۱۶) نتایج مشابهی را گزارش کردند. آن‌ها نیز با بررسی تغییرات شاخص NDVI و بارش در جنگل‌های مناطق نیمه‌خشک در شمال شرق برزیل نشان دادند که تغییرات NDVI بیشتر از تغییرات بارش در فصل رشد نسبت به فصل‌های مرطوب (پاییز و زمستان) پیروی می‌کند. Goodarzi و همکاران (۲۰۱۹) پس از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای ۱۶ شاخص گیاهی در جنگل‌های بلوط استان لرستان به این نتیجه رسیدند که دو محور عاملی حدود ۹۶ درصد از واریانس شاخص‌های مورد بررسی را تبیین می‌کنند. همچنین، شاخص‌های گروه‌های اول و دوم به ترتیب با بارش و میانگین دمای سالانه، ضریب همبستگی بیشتری داشتند. براساس نظر Huete (۱۹۸۸)، شاخص SAVI با خنثی کردن اثر پیکسل‌های خاک در مناطقی که دارای پوشش گیاهی کم‌تراکم و خاک قابل مشاهده در بین تاج پوشش گیاهان هستند، دقت بسیار خوبی دارد. به همین سبب در پژوهش پیش‌رو نیز، SAVI در بین شاخص‌های

گیاهی گروه اول، توان بیشتری برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و بارش داشت، زیرا در منطقه مورد مطالعه نیز تراکم پوشش جنگلی کم است. در بین همه شاخص‌های مربوط به گروه‌های اول و دوم، بیشترین همبستگی (۵۱ درصد) بین RGRI و دمای فصل بهار مشاهده شد. در راستای تأیید این یافته‌ها، Hlásny و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که اگرچه کاهش بارش بر وضعیت غیرمطلوب پوشش جنگلی بلوط مؤثر است، اما افزایش دما در دوره‌های گرم‌تر، اثرات نامساعد بیشتری بر پوشش جنگلی دارد.

نتایج مربوط به بررسی رابطه‌های رگرسیونی ساده خطی بین SAVI و RGRI به ترتیب با بارش و دمای فصل بهار در سه دهه اخیر نشان داد که مقدار ضریب همبستگی این شاخص‌ها در هر سه دهه به‌طور متوالی کاهش یافته است، چنانکه ضریب همبستگی SAVI با بارش فصل بهار از ۸۴ درصد در دهه اول (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷) به مقدار صفر درصد در دهه سوم (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷) و ضریب همبستگی RGRI با دمای فصل بهار از ۵۱ درصد در دهه اول به ۳۱ درصد در دهه سوم کاهش یافت. افزایش بارش و دما، اثرات متضادی بر شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه دارند، بنابراین به نظر می‌رسد در دهه اول که روند افزایشی یا کاهشی برای دمای فصل بهار مشاهده نشد، افزایش بارش و کاهش دمای فصل بهار در این دهه، اثرات همسانی بر پوشش گیاهی داشت. به همین دلیل رابطه‌های رگرسیونی SAVI و RGRI به ترتیب با دما و بارش فصل بهار، بیشترین ضریب همبستگی را نشان دادند، اما در دهه‌های دوم و سوم، روند افزایشی برای دمای فصل بهار مشاهده شد، درحالی‌که بارش فصل بهار، روند افزایشی یا کاهشی نداشت، بنابراین در این دهه‌ها، تغییرات شاخص‌های SAVI و RGRI با تغییرات مقادیر بارش و یا کاهش دما در فصل بهار، تطابق کمتری نشان دادند. به همین سبب، مقدار ضریب‌های همبستگی برای رابطه‌های رگرسیونی شاخص‌های مذکور با بارش و دما در فصل بهار کاهش یافت، زیرا روند دما در این فصل طی دهه‌های مذکور افزایشی بوده است. این امر بر کاهش همبستگی شاخص‌های مذکور تأثیرگذار بود، بنابراین

پیچیدگی‌های علت و معلولی در طبیعت، هنوز بشر قادر به ارائه مدلی تجربی از فعل و انفعالات کامل طبیعت (مدل جعبه سفید) نیست. بیشتر مدل‌ها با به‌کارگیری عامل‌های مؤثر محدود بر رخداد یک پدیده (مدل‌های جعبه سیاه و خاکستری) به بررسی موضوعات می‌پردازند. در واقع، عوامل بی‌شماری بر رخداد وقایع مؤثر هستند که امکان بررسی همه این عوامل با مدل‌های ارائه‌شده امروزی تاکنون مهیا نشده است، بنابراین بیشتر در کارهای پژوهشی با اصل ساده‌سازی روبه‌رو هستیم. در این اصل، بسیاری از عامل‌های مؤثر بر فعل و انفعالات طبیعی به سبب مواجهه با پیچیدگی‌ها و سردرگمی‌های پژوهشی از روند پژوهش حذف می‌شوند، بنابراین با تمرکز بر عامل‌های مشخص، مدلی ساده و آماري به‌منظور تبیین آن پدیده و عامل‌های مؤثر آن ارائه می‌شود. به همین سبب در بسیاری از موضوعات مرتبط با علوم طبیعی، مدل‌های رگرسیونی ساده و یا چندمتغیره برای تبیین مسائل ارائه شده‌اند. در پژوهش پیش‌رو نیز اگرچه علاوه بر بارش و دما، عوامل بسیاری مانند دخالت انسانی، تغییرات رطوبت، تابش خورشید، جریان‌های هوا و آفات می‌توانند بر پوشش جنگلی تأثیرگذار باشد، اما پژوهشگران با پذیرش دو اصل عدم قطعیت علمی و ساده‌سازی علمی، بر تغییرات دو پارامتر اقلیمی دما و بارش متمرکز شدند، اثرات آن را بر پوشش جنگلی بررسی کرده و یافته‌های خود را در این زمینه مشخص ارائه کردند.

منابع مورد استفاده

- Ayanlade, A., 2017. Remote sensing vegetation dynamics analytical methods: a review of vegetation indices techniques. *Geoinformatica Polonica*, 16: 7-17.
- Bannari, A., Asalhi, H. and Teillet, P.M., 2002. Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Toronto, Canada, 24-28 Jun. 2002: 3053-3033.
- Biabani, K., Pilevar, B. and Safari, A., 2016. Comparison of spatial patterns and interspecific association of Gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.) and Lebanon oak (*Q. libani* Oliv.) in two less

نوسانات افزایشی بارش و کاهش دما، تأثیر چندانی بر افزایش شاخص‌های مذکور نداشته است (Maroufzade & Attarod, 2021). از سوی دیگر، تأثیرپذیری پوشش جنگلی از بارش و دمای فصل بهار نشان‌دهنده اهمیت شرایط بارش و دمای فصل رویش بر پوشش جنگلی منطقه است. به نظر می‌رسد که این امر با توجه به رخداد عمده بارش در فصل بهار قابل درک باشد.

در یک نگاه کلی، نتایج مربوط به پژوهش پیش‌رو نشان داد که از بین ۲۵ شاخص گیاهی مورد مطالعه مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، SAVI و RGRI به ترتیب با بارش و دمای فصل بهار از بیشترین ضریب همبستگی برخوردار هستند. این نتیجه حاکی از آن است که ویژگی‌های پوشش گیاهی و اقلیمی در هر منطقه بر کاربرد شاخص گیاهی مناسب برای پژوهش‌های مربوط به اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات پوشش جنگلی مؤثر است. همچنین، با انتخاب دو شاخص مذکور به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای بارش و دمای فصل بهار بر پوشش گیاهی، یافته‌های پژوهش پیش‌رو نشان داد که به دلیل اثرات همسان بارش و دمای فصل بهار در دهه اول (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷) شاخص‌های SAVI و RGRI بیشترین درصد همبستگی را به‌خود اختصاص دادند، در حالی که طی دهه‌های دوم و سوم، مقدار ضریب همبستگی به سبب اثرات متضاد بارش و دمای فصل بهار به شدت کاهش یافت. براساس این نتایج و با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، دخیل بودن عوامل مؤثر دیگر بر پوشش جنگلی و نیز اثرات متضاد یا همسان متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگلی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های مذکور برای بررسی تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگل زاگرس شمالی از انطباق و همبستگی کم تا متوسطی برخوردار هستند.

یکی از مفاهیم علوم تجربی، مسئله عدم قطعیت در انجام کارهای پژوهشی است. به عبارت ساده، در روش‌شناسی علمی به‌ویژه علوم تجربی، نتایج پژوهش‌ها همواره با مقداری عدم قطعیت همراه است. از سوی دیگر، با توجه به

- Goodarzi, M., Pourhashemi, M. and Azizi, Z., 2019. Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. *Journal of Forest Science*, 65(1): 9-17.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J. and Strachan, I. B., 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3): 337-352.
- Hlásny, T., Barka, I., Sitková, Z., Bucha, T., Konôpka, M. and Lukáč, M., 2015. MODIS-based vegetation index has sufficient sensitivity to indicate stand-level intra-seasonal climatic stress in oak and beech forests. *Annals of Forest Science*, 72(1): 109-125.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309.
- IPCC, 2013. Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections [van Oldenborgh, G.J., Collins, M., Arblaster, J., Christensen, J.H., Marotzke, J., Power, S.B., Rummukainen M. and Zhou, T. (Eds.)]: 1311-1394. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- Kauth, R.J. and Thomas, G.S., 1976. The tasseled cap - A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. West Lafayette, Indiana, 29 Jun.-1 Jul. 1976: 4B41-4B51.
- Lobell, D.B. and Asner, G.P., 2003. Hyperion studies of crop stress in Mexico. *Proceedings of the 12th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*. Pasadena, California, 24-28 Feb. 2003: 6p.
- Louhaichi, M., Borman, M.M. and Johnson, D.E., 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1): 65-70.
- Maroufzade, E. and Attarod, P., 2021. Are forest vegetation variations consistent with trends of meteorological parameters in the northern Zagros degraded and degraded oak stands in northern Zagros (Case study: Khedr Abad, Sardasht). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(1): 77-88 (In Persian).
- Bihamta, M.R. and Zare Chahouki, M.A., 2015. *Principles of Statistics for the Natural Resources Science*. University of Tehran Press, Tehran, 322p (In Persian).
- Birth, G.S. and McVey, G.R., 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*, 60(6): 640-643.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C.B., Jensen, N.O., Schelde, K. and Thomsen, A., 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3): 179-193.
- Chen, J.M., 1996. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22(3): 229-242.
- Crippen, R.E., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1): 71-73.
- Es'fahghi Rad, J., Motalebpour, A. and Alijanpour, A., 2016. Association survey between oak species in relation to physiographic factors in Zagros forest (Case study: Sardasht forest, Rabat). *Forest Research and Development*, 1(4): 285-294.
- FAO, 2013. *Climate change guidelines for forest managers*. FAO Forestry Paper No. 172. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 104p.
- Gamon, J.A. and Surfus, J.S., 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143(1): 105-117.
- Garbolino, E., Sanseverino-Godfrin, V. and Hinojos-Mendoza, G., 2017. Reprint of: Describing and predicting of the vegetation development of Corsica due to expected climate change and its impact on forest fire risk evolution. *Safety Science*, 97: 81-87.
- Gitelson, A.A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y. and Derry, D., 1996. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13): 2537-2562.
- Goel, N.S. and Qin, W., 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10(4): 309-347.

- variability in tropical dry forests. *Hydrological Processes*, 30(20): 3583-3595
- Sripada, R.P., Heiniger, R.W., White, J.G. and Meijer, A.D., 2006. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98(4): 968-977.
 - Thiele, J.C., Nuske, R.S., Ahrends, B., Panferov, O., Albert, M., Staupendahl, K., ... and Saborowski, J., 2017. Climate change impact assessment—a simulation experiment with Norway spruce for a forest district in Central Europe. *Ecological Modelling*, 346: 30-47.
 - Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
 - Uppgupta, S., Sharma, J., Jayaraman, M., Kumar, V. and Ravindranath, N.H., 2015. Climate change impact and vulnerability assessment of forests in the Indian Western Himalayan region: A case study of Himachal Pradesh, India. *Climate Risk Management*, 10: 63-76.
 - Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
 - Yaghoobi, S., Heidarzadi Z. and Mirzapour, H., 2019. Comparing NDVI and RVI for forest density estimation and their relationships with rainfall (Case study: Malekshahi, Ilam Province). *Environmental Resources Research*, 7(2): 117-128.
 - Yang, Z., Willis, P. and Mueller, R., 2008. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. *Proceedings of the 17th William T. Pecora Memorial Remote Sensing Symposium on The Future of Land Imaging... Going Operational*. Denver, Colorado, 18-20 Nov. 2008: 11p.
 - region of Iran? *Iranian Journal of Forest*, In press.
 - Masek, J.G., Hayes, D.J., Joseph Hughes, M., Healey, S.P. and Turner, D.P., 2015. The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 355: 109-123.
 - Pinty, B. and Verstraete, M.M., 1992. GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101: 15-20.
 - Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, S., 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2): 119-126.
 - Rizzetto, S., Belyazid, S., Gégout, J.C., Nicolas, M., Alard, D., Corcket, E., Gaudio, N., Sverdrup, H. and Probst, A., 2016. Modelling the impact of climate change and atmospheric N deposition on French forests biodiversity. *Environmental Pollution*, 213: 1016-1027.
 - Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F., 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2): 95-107.
 - Roujean, J.L. and Breon, F.M., 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3): 375-384.
 - Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Washington, D.C., 10-14 Dec. 1973: 309-317.
 - Sohngen, B. and Tian, X., 2016. Global climate change impacts on forests and markets. *Forest Policy and Economics*, 72: 18-26.
 - Souza, R., Feng, X., Antonino, A., Montenegro, S., Souza, E. and Porporato, A., 2016. Vegetation response to rainfall seasonality and interannual

Appropriate plant indicators derived from satellite images to investigate the impact of climatic parameters on forest cover in Northern Zagros, Iran

E. Maroufzade ¹, P. Attarod ^{2*} and A. Ghasemi ³

1- Ph.D. Candidate of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2* - Corresponding author, Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: attarod@ut.ac.ir

3- M.Sc. Graduated of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 30.07.2020

Accepted: 18.11.2020

Abstract

This study aimed at selecting the most appropriate vegetation indices extracted from satellite images to study the effect of climate change on forest cover in the Sardasht, W. Azerbaijan province, Iran. Therefore, 25 plant indices were initially calculated from Landsat time-series images during 1988-2017, followed by applying principal component analysis (PCA), which led to the selection of nine more effective plant indices. The selected indices included seven indices in the first axis and two in the second axis. These two axes explained ca. 91% of the variance of the studied indicators. In addition, linear correlation coefficients between selected indices and climatic parameters were investigated using the data of the Sardasht synoptic station. The results showed that the indicators of the first and second axes were directly and inversely correlated with spring rainfall and temperature, respectively. The Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) showed 49% correlation with spring rainfall, while the Red Green Ratio Index (RGRI) revealed 51% correlation with the average spring temperature during the 30-year period. The association of SAVI and RGRI indices with precipitation and temperature in the last three decades showed a correlation of 84% and 51%, respectively, mainly due to the matching effects of precipitation and spring temperature in the first decade. However, correlation coefficients of both indices decreased to less than 50 and 10%, respectively, in the second and third decades. According to 1) the characteristics of the study area and the involvement of other factors that affect forest cover as well as 2) the opposite or similar effects of climate parameters on forest cover, application of the mentioned indicators to survey the effect of climate change on the Northern Zagros forest cover showed low to moderate correlations.

Keywords: Forest vegetation, Landsat, Principal component analysis (PCA), Sardasht.